
SPEZIAL

Elektronenstrahlschweißen
von Aluminiumwerkstoffen



□ beam □ welding □ technology □

Elektronenstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen

Electron Beam Welding of Aluminium materials

Elektronenstrahlschweißen und Aluminium eine Ehe mit Zukunft

Ressourcenverknappung, Reduzierung des Schadstoffausstoßes bei steigenden Komfort- und Sicherheitsansprüchen und das Materialrecycling zwingen die Automobil-, Luftfahrt- und andere Branchen zur Leichtbauweise. Dies zwingt Konstrukteure zur Gestaltung komplexerer Bauteile und zum Einsatz von Magnesium- und Aluminium-Legierungen. Fertigungs- und Maschinenplaner benötigen hierfür flexible, leistungsstarke und kostengünstige Fügeverfahren. Die aluminiumproduzierende Industrie erwartet allein in Europa bis 2005 einen Anstieg des Al-Einsatzes von 25 bis 30 %.

Die Automobilbranche mit komplexen, dünnwandigen Karosseriebauteile aus verschiedenen Aluminiumlegierungen und mit extrem hohen Stückzahlen benötigen Fügeverfahren mit hohen Schweißgeschwindigkeiten.

Die Luft- und Raumfahrt mit hochfesten Aluminiumlegierungen der 7000er Familie für sicherheitsrelevante Bauteile fordert reproduzierbare Fügeverfahren mit hoher Strahlstabilität und die Online-Überwachung aller Strahlparameter.

Im Maschinenbau müssen dickwandige Aluminiumbleche kostengünstig, material- und bearbeitungssparend, verzugsarm und in einem Schweißdurchgang für die Elektronikindustrie gefertigt werden.

Nur das Elektronenstrahl-Schweißverfahren **EBW** ist als einziges Fügeverfahren in der Lage dieses breite Anforderungsspektrum aller Industriebereiche komplett und wirtschaftlich abzudecken.

Spezifische Vorzüge des Elektronenstrahlschweißens, **EBW**

- Strahlleistungen 1 bis 60 kW
- Nahttiefen 0,1 bis 300 mm
- Schweißgeschwindigkeiten 15 m/min
- Nahttiefe zu Nahtbreite Verhältnis 50:1
- Anlagen-Gesamtwirkungsgrad bis zu 80 %
- schmale Nähte
- geringe Wärmeeinflusszone
- geringer Verzug
- geringe örtliche Gefügeänderung
- Material unabhängige Energieeinbringung
- hohe Reproduzierbarkeit und Konstanz aller Schweißparameter und damit der Nahtgüte
- Schweißen mit Zusatzwerkstoffen möglich
- Multi Beam Processing für das:
 - Online Vor- und Nachwärmen
 - Online Nahtglätten (cosmetic weld)
- EB Schweißen im Vakuum und an Atmosphäre

Grundlagen der Elektronenstrahlerzeugung

Der Elektronenstrahlerzeuger generiert und steuert den Strahl nach dem Triodenprinzip. Aus einer auf 2.500°C geheizten Wolframkathode werden Elektronen emittiert und durch Anlegen einer Hochspannung (150/175 kV) zwischen Kathode und Anode bis auf 2/3 der Lichtgeschwindigkeit in Richtung Werkstück beschleunigt. Eine Steuerelektrode (Wehneltzylinder) zwischen Anode und Kathode steuert mit einer Differenzspannung bis etwa 2000 V gegenüber dem Potential der Kathode den Strahlstrom. Zwischen Strahlerzeugung und der Werkstückoberfläche wird der Elektronenstrahl geformt und zu einem feinen Brennfleck (Ø 0,1 mm) mit extrem hoher Leistungsdichte fokussiert. Beim Auftreffen der Elektronen auf der Oberfläche wird ein großer Teil der kinetische Energie der Elektronen in Wärme umgewandelt der Rest emittiert in Form von Röntgenstrahlung. Für eine störungsfreie EB Erzeugung ist ein Vakuum von $<10^{-4}$ mbar erforderlich. Der Elektronenstrahlerzeuger bildet zusammen mit der Hochspannungsversorgung als EB Generator eine eigenständige Einheit.

EB Schweißen von Al Werkstoffen

Grundsätzlich sind beim EB Schweißen von Aluminium die metallurgischen Vorgänge im Schmelzbad weitgehend identisch mit denen, beim konventionellen Schweißen./6/

Der Schmelzpunktunterschied zwischen Oxidhaut (ca. 2050°C) und dem Grundwerkstoff (ca. 660°C) und die hohe Affinität des Schmelzbades zu den atmosphärischen Gasen, insbesondere zu Wasserstoff, sind zu beachten./1/

Beim Herstellen hochwertiger Schweißverbindungen soll zwischen dem mechanischen Bearbeiten und dem EB Schweißen keine beliebig lange Zeit (< 24 h) verstreichen./4/

Auf Grund des Erstarrungsverhaltens beim EB Schweißen gibt es Al-Legierungen die zu heißrissempfindlich neigen.

Schweißgeeignete Al-Werkstoffe

Leg. Gruppe	Werkstoff	Schweißseignung
nicht aushärtbare Knetlegierungen	Al 99,5 AlMn 1 AlMg 3 AlMg 4,5 Mn AlMg 5	gut gut Neigung zu Heißrissen gut gut, geringe Neigung zu Porenbildung
aushärtbare Knetlegierungen	AlMgSi 1 AlCuMg 2 AlZnMgCu AlMgSiPb	heißrißanfällig gut möglich, Gefahr von Heißrissen, Poren durch ausdampfen von Zn und Mg nicht gegeben, Automatenqualität
nicht aushärtbare Gußlegierungen	G - AlSi 12 G - AlSi 9 Cu 3 G - AlMg 5	gut gut gut, geringe Neigung zu Poren
aushärtbare Gußlegierungen	G - AlSi 7 Mg G - AlMg 5 Si G - AlCu 4 Ti GD - AlSi 8 Cu 3	gut gut, geringe Neigung zu Poren Gefahr von Heißrissen Neigung zu starker Porenbildung

/4/

Schweißbarkeit von heißrissempfindlichen Al-Legierungen ist nur über metallurgische Maßnahmen, wie z.B. der Zugabe von Legierungselementen in Form von Zusatzmaterial wie Folien bzw. Draht, zu lösen. Durch den Einsatz von Zusatzmaterial können auch eine gewisse Spaltüberbrückbarkeit ermöglicht werden und Fehler -wie Nahtfall und Randkerben- vermieden werden. Auch wird durch Zusatzmaterial eine Verschiebung der Zusammensetzung des Schmelzbades zu einer heißrissempfindlichen Legierung erreicht./6/

Hinweise auf die Grenzwerte einiger Legierungselemente für die Heißrissempfindlichkeit.

Legierungsgruppe	höchste Rissempfindlichkeit bei :	praktischer Mindestgehalt	kritischer Temp.bereich
AlSi	0,75% Si	2% Si	660 - 577 °C
AlCu	3% Cu	5% Cu	660 - 547 °C
AlMg	1,2% Mg	3,5% Mg	660 - 449 °C
AlMgSi	0,5 - 0,8% Si 0,2 - 1,2% Mg	2,0% Si 3,5% Mg	

/5/

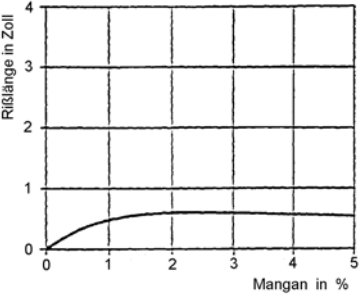
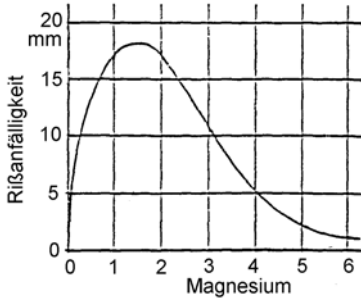
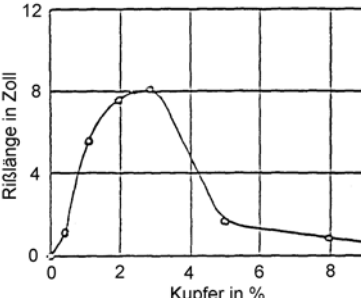
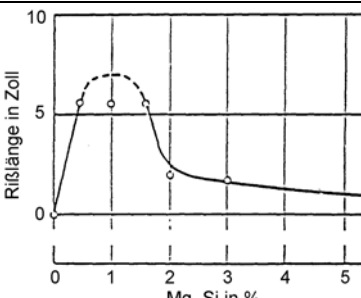
In der Gruppe der nicht aushärtbaren Knetlegierungen fällt auf, dass **Magnesium** in einem Bereich zwischen 1 % und 2 % zu einer maximalen Rissempfindlichkeit führt./6/

Zink erhöht nicht nur die Heißrissempfindlichkeit, sondern aufgrund des hohen Dampfdruckes auch erheblich die Porenbildung in der Schweißnaht./6/

Silizium legierte Al-Gusswerkstoffe zeigen bei ≤ 13 % Si gute Schweißseignung, bei ≥ 13 % nimmt dann die Heißrissempfindlichkeit zu./6/

Allen **Al-Gusswerkstoffen** ist eine gewisse Porosität gemeinsam, die sich beim EB Schweißen in abgeschwächtem Ausmaß auch auf die Schmelzzone überträgt. Das ist insbesondere bei Druckgusslegierungen zu beobachten./6/

Schweißrissanfälligkeit einzelner Al – Legierungen /6/

<p>Mn, Mangan</p> <p>Bei AlMn Legierungen eine sehr große Sicherheit gegen Heißrisse beim Schweißen und praktisch keine Abhängigkeit vom Mn-Gehalt</p>	
<p>Mg, Magnesium</p> <p>Im Gegensatz dazu ist bei den häufig eingesetzten nicht aushärtbaren AlMg Legierungen eine starke Abhängigkeit der Rissanfälligkeit von der Höhe des Legierungsgehaltes zu erkennen. Das Maximum der Rissneigung liegt hier zwischen 1 % und 2 % Mg</p>	
<p>Cu, Kupfer</p> <p>Von den aushärtbaren Werkstoffen scheiden bei der konventionellen Schweißtechnik die AlCu- und AlCuMg Legierungen wegen ihres ungünstigen Schweißrissverhaltens praktisch aus, sofern die AlCu Legierungen nicht mehr als 5 % Cu enthalten.</p>	
<p>Mg₂Si,</p> <p>Das Heißrissverhalten der quasibinären AlMg₂Si-Legierungen. Das Maximum der Rissanfälligkeit liegt hier bei 1 %.</p>	

Bei Schweißverbindungen liegt die Frage nahe, mit welcher Festigkeit beziehungsweise Härte im Vergleich zu der des Grundwerkstoffs zu rechnen ist. In diesem Zusammenhang spielt bei Aluminiumwerkstoffen der Unterschied zwischen nicht aushärtbaren und aushärtbaren Legierungen eine wesentliche Rolle.

Kaltverfestigte (walzhart) und aushärtbare Aluminiumlegierungen verlieren in der schmalen Schmelzzone einen Teil ihrer Härte.

Kaltauslagernde Legierungen erfahren nach dem Schweißen und anschließendem längeren Lagern bei Raumtemperatur, wieder einen Härteanstieg, der aber nicht ganz an den Wert des unbeeinflussten Grundwerkstoffes heranreicht.

In der Wärmeeinflusszone (WEZ) treten dagegen andere Effekte auf. Im Bereich, der auf Lösungsglüh-temperatur erwärmt wurde, steigt durch eine Art „Warmauslagern“ die Härte wieder an, und in jenem Bereich, der auf Temperaturen zwischen Lösungsglüh- und Auslagern gelangte, tritt eine Überhärtung ein, die sich als Härteanstieg in diesem Bereich (WEZ) bemerkbar macht.

EB Schweißen von Al Werkstoffen im **Fein** - oder im **Hoch-Vakuum** **F/HV EBW**

Bei diesem Verfahren wird das Werkstück in einer evakuierten Arbeitskammer bewegt. Der Arbeitsdruck ist 2×10^{-2} mbar bei Feinvakuum (**FV EBW**) Anlagen und 7×10^{-4} mbar bei Hochvakuum (**HV EBW**) Anlagen. Der EB Generator wird horizontal oder vertikal außerhalb auf die Kammerdecke oder Kammerwand montiert. Der Einsatz von Fein- oder Hochvakuum, horizontalen oder vertikalen Generator ist vom Arbeitsabstand und der erforderlichen Nahtqualität und Nahttiefe abhängig.

Alle **FV/HV EBW** Anlagen bestehen aus folgenden Baugruppen:

- Elektronenstrahlgenerator (70 oder 150 kV)
- Arbeitskammer (Vakuumrezipient)
- Werkstück-Manipulatoren und Vorrichtungen
- Fein- oder Hoch-Vakuumpumpsysteme
- Steuerung

Das EB-Schweißen von Al-Legierungen -speziell die mit hohem Zn-Gehalt und dicken Querschnitten- im Vakuum stellt hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit und die Strahlstabilität des EB Generators.

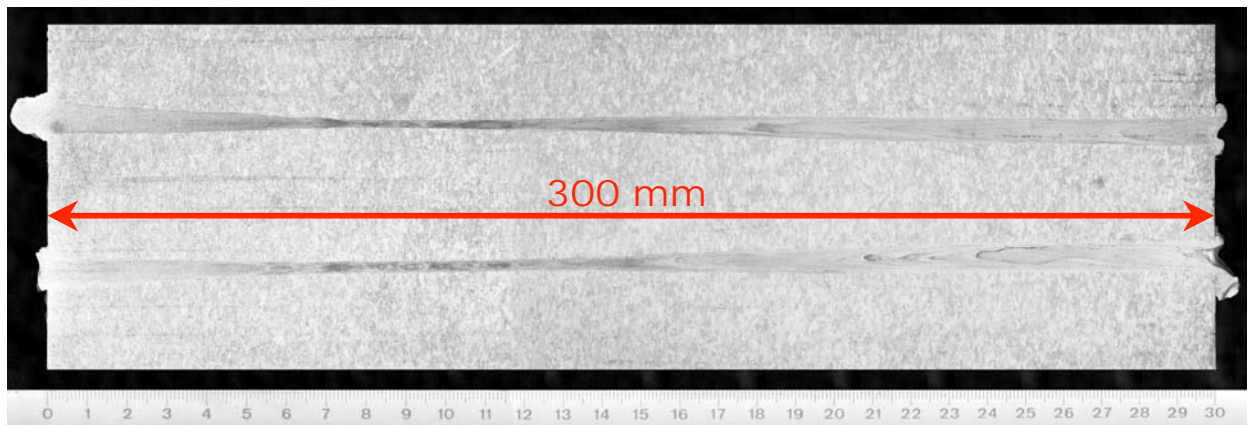
Das *Steigerwald* Doppellinsen-System und das Kippen der Strahlerzeugerachse aus der Schweißachse vermeidet weitest gehend das Eindringen von Schweißdampf in den Strahlerzeuger und erhöht damit wesentlich die Strahlstabilität. Diese Systeme werden seit jahrzehnten erfolgreich beim EB Bohren eingesetzt.

Sehr wichtig ist eine betriebssichere und parameterstabile Hochspannungsversorgung. Seit 1994 setzt Steigerwald getaktete HV Anlagen erfolgreich ein die den industriellen Erfordernissen immer weiter angepasst werden.

Beispiele für im Vakuum EB geschweißte Al-Anwendungen.

Aluminium der 5000 Serie

Mit Hilfe des *Steigerwald Doppellinsen-Systems* sind bereits eindrucksvolle Schweißnahtiefen von **300 mm** in einer **AlMg5**-Legierung erreicht worden. Mit einer **150 kV** Hochspannungsversorgung und einer Strahlleistung von **60 kW** konnte eine Schweißgeschwindigkeit von **10 mm/s** erzielt werden



[3]

5???? (AlMg5) Blech, 10 mm dick, walzhart
Strahlleistung 4,4 kW, Schweißgeschwindigkeit
20 mm/s

5???? (AlMgSi1) Blech, 10 mm dick, walzhart
Strahlleistung 4,4 kW, Schweißgeschwindigkeit
20 mm/s

Aktuelle Anwendung und Anlagenkonzept 171

Die jüngste und praktische Anwendung findet das Doppellinsen-System in einer im Frühjahr 2001 ausgelieferten **EB** Großkammer Schweißanlage für einen japanischen Kunden. In dieser **EBW** Anlage werden Aluminium-Kammern mit Wanddicken bis zu 70 mm geschweißt. Diese werden als Handlins- oder Prozesskammern zum Bedampfen und Ätzen von Silizium-Wafern, LCD-Bildschirmen etc. eingesetzt.



[3]

Um den Abmessungen der fertigen Prozesskammern von 800 x 800 mm gerecht zu werden und kurze Fertigungszeiten zu erreichen wurde bei igm Steigerwald Strahltechnik eine **HV EBW** Anlage mit 29 m³ Kammervolumen und 15 Minuten Pumpzeit, einem vertikalen und einem horizontalen EB Erzeuger und einer umschaltbaren **150 kV** Hochspannungsversorgung für **30 kW** Strahlleistung gebaut.



EBOCAM KS 290 – 2 G 300 KML

[3]

In Europa und den USA werden die Kammern geschraubt oder konventionell aus rostfreien Edelstahl, Nickelbasislegierungen oder unlegierter Stahl gefertigt.

Auf konventionellem Weg geschweißte Aluminiumkammern, erfordern beim MIG-Schweißen bis zu 30 Lagen. Der hohe Wärmeeintrag führt unweigerlich zu starkem Verzug der Bauteile.

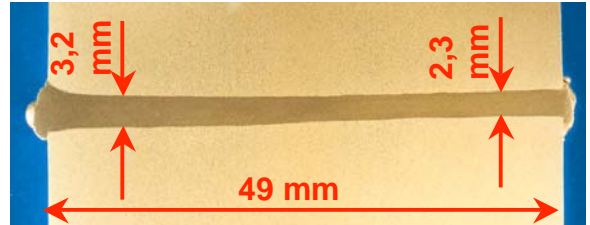
Schweißversuche, an einer kleinen Prozesskammer, gefertigt aus 49 mm dicken AlMg4,5Mn (Al 5083) Blechen, geschweißt mit 480 mm/min Schweißgeschwindigkeit und 20 kW Strahlleistung, zeigten sehr gute Schweißergebnisse.



[3]

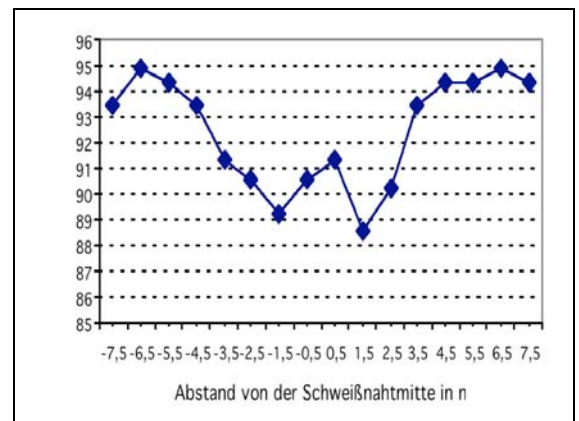
Der Verzug der Kammer war sehr gering. Nahtoberraupe und die Nahtwurzel sind leicht überhöht und zeigten einen flachen Nahtübergang.

Die 2,3 bis 3,2 mm breiten Nähte zeigten keine Risse, waren in der Mikrostruktur homogen und wiesen ein sehr feines Erstarrungsgefüge auf.



[3]

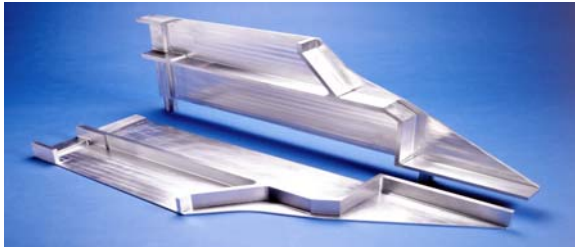
Die Werte der Kerbschlagarbeit und der Härte zeigen, dass kein nennenswerter Festigkeitsverlust in der wärmebeeinflussten Zone bzw. in der Naht zu erwarten ist.



[3]

Aluminium der 7000 Serie

Gewichtsoptimierte und aus dem Vollen gefräste Bauteile für die Luftfahrt aus hoch festem Al 7050 (AlZnMgCu) müssen mit hoher Reproduzierbarkeit und Qualität EB geschweißt werden.

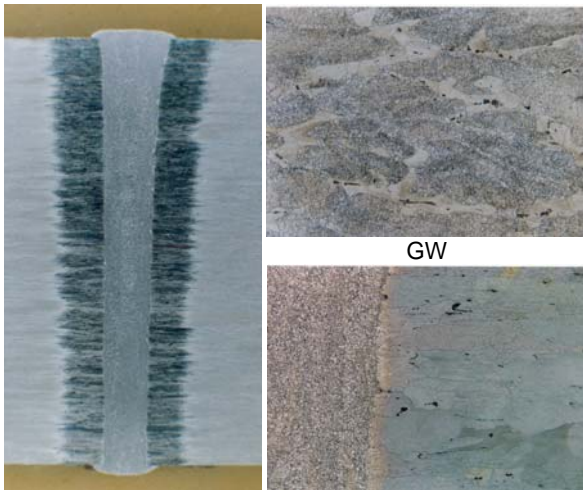


[3]

Erste Schweißversuche wurden an Proben mit variierender Dicke von 5 bis 27 mm in der als nicht schweißbar geltenden Al-Legierung 7050 durchgeführt. Die erforderliche Variation der Fokusslage, der Schweißleistung (4 bis 7 kW) und der Schweißgeschwindigkeit (8 bis 18 mm/s) wurde über die CNC Steuerung vorgenommen.

Der hohe Zn- (5,7-6,7%) und Mg- (1,9-2,6%) Anteile der Al-Legierung 7050 neigt beim Elektronenstrahlschweißen im Vakuum zur Verdampfung, was teilweise kleine blow-outs zur Folge hat. Des weiteren gilt diese Legierung allgemein als Heißrissempfindlich.

Durch eine optimierte Parameterwahl konnte die Rissbildung unterdrückt und die blow-outs auf ein vernachlässigbares Maß reduziert werden.



Querschliff V 7,5:1 SZ WEZ GW V 100:1 [3]

Schliffbilder der Schweißnaht zeigen in der Schmelzzone [SZ], der Wärmeinflusszone [WEZ] und dem Grundwerkstoff [GW] keine Anomalien.

In der Schmelzzone [SZ] entstand ein fein disperges Gefüge. Durch die gerichtete Wärmeabfuhr in den Grundwerkstoff ist eine Ausbildung von feinen Dentriden typisch. Neben der Schmelzzone [SZ] die Wärmeinflusszone [WEZ].



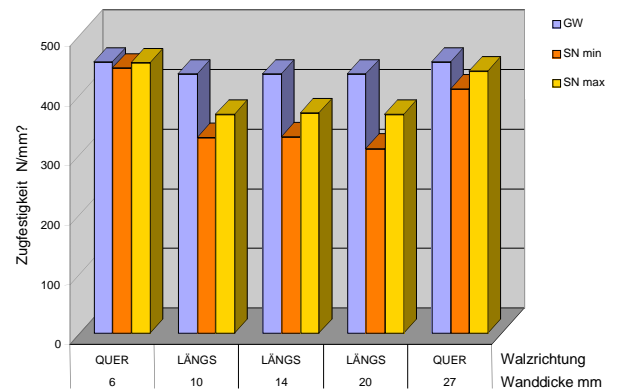
Nahtoberraupe V 5:1 [3]



Nahtunterraupe V 5:1 [3]

Bei den statischen Festigkeitsuntersuchungen konnte ein Einfluss der Schweißrichtung zur Walzrichtung (Längs/Quer) festgestellt werden.

Abhängigkeit der Zugfestigkeit von der Walzrichtung



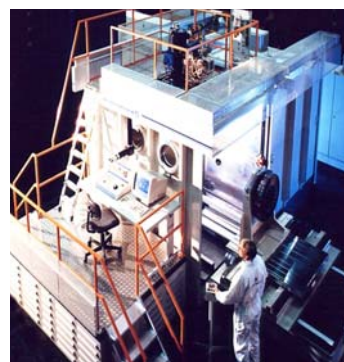
[3]

Bei dynamischen Festigkeitsuntersuchungen (Dauerschwingversuchen) an 27 mm dicken Proben konnten keine negativen Einflüsse ermittelt werden.



[3]

In einer Elektronenstrahlschweißanlage Typ EBOCAM mit 11 m³ Kammervolumen und einem



15 kW / 150 kV

Hochspannungsgenerator konnten die ermittelten Parameter erfolgreich auf die original Bauteile übertragen und für die

Serienproduktion freigegeben werden.

[3]

Umschmelzveredeln von Aluminium

Das Umschmelzveredeln eines Aluminiumgrundwerkstoffs durch Zuführen eines Zusatzwerkstoffs ist eine weitere Anwendung für den Elektronenstrahl. Dieses Verfahren erlaubt die Herstellung „synthetischer“ Legierungen die durch konventionelle metallurgische Methoden nicht herstellbar sind.

Ziel des Umschmelzveredeln ist, die örtlich begrenzte Schaffung einer neuen Legierungszusammensetzung um z.B. die Verschleißbeständigkeit zu erhöhen oder um die Warmfestigkeitseigenschaften zu verbessern.

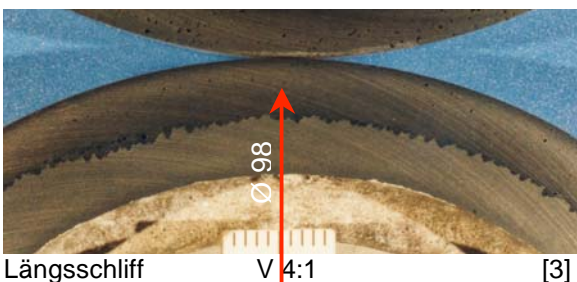
Für diesen Zweck wurden bei Steigerwald vakuuntaugliche und CNC steuerbare Drahtzuführungen für den internen und externen Betrieb an einer EB Anlage entwickelt. Diese ermöglichen für einen reproduzierbaren Legierungsprozess den Zusatzwerkstoff positionsgenau und sehr dosiert der Schmelzzone zuzuführen. [3]



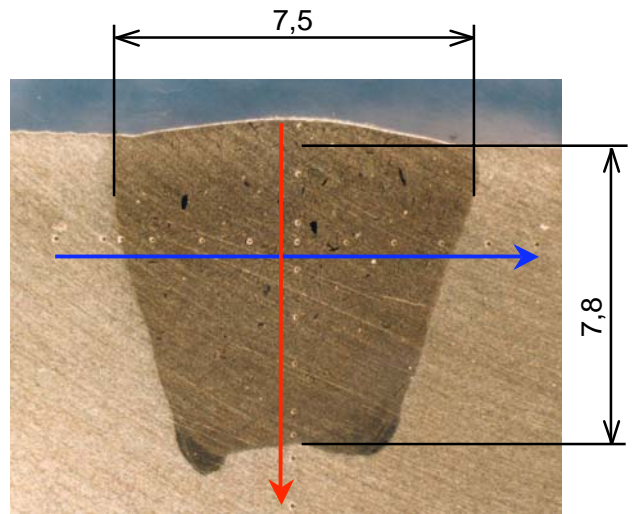
Eine klassische Aufgabe ist das Einschmelzlegieren von Nickel an Motorkolben im Bereich der ersten Kolbenringnut, mit dem Ziel die Festigkeit im Nutbereich wesentlich zu Erhöhen. [3]

Für einen spanischen Kolbenhersteller wurden parallel zur Entwicklung einer EB Durchlaufmaschine für das Einschmelzlegieren von Kolben mit hoher Stückzahlen die Prozessparameter in einer EB Kleinkammeranlage ermittelt.

Dem Grundwerkstoff (GW) G-AlSi12CuNiMg des Kolben wurde in der Schmelzzone mit Hilfe einer internen Drahtzuführung kontinuierlich und CNC gesteuert ein 1,2 mm dicker S-NiTi4 Draht zugeführt.

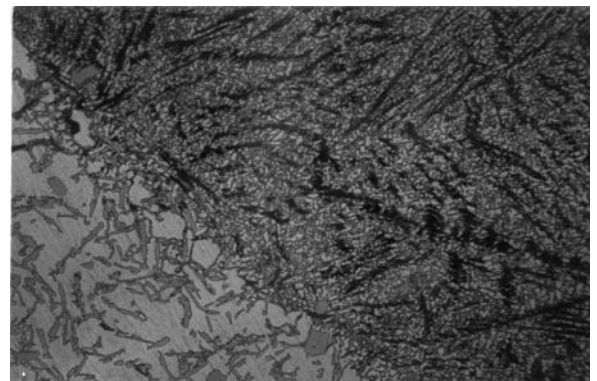


Längsschliff V 4:1 [3]



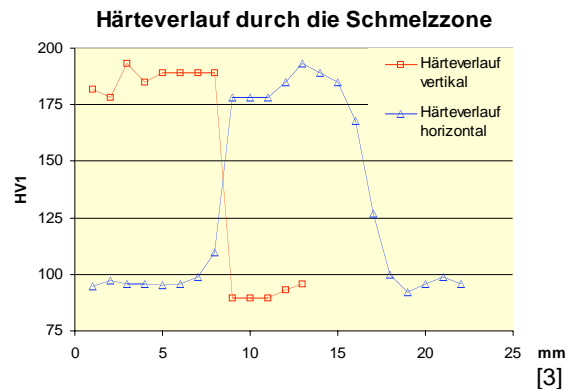
V 6:1 Querschliff durch SZ [3]

Mit einer Strahlleistung von 3,5 kW wurde der Schmelzzone bei einmaligem Umlauf und einer Umfangsgeschwindigkeit von 12 mm/s ca. 33 cm Draht zugeführt.



SZ Übergangsbereich GW V 200:1 [3]

Das Schliffbild zeigt eine optimale Nickellösung und Verteilung der länglichen Nickelkristalle. In der Schmelzzone (SZ) errechnet sich ein Ni-Gehalt von ca. 8,2 %



Eine Härteprüfung durch die Schmelzzone (SZ) in vertikaler und horizontaler Richtung zeigt den gewünschten Härteverlauf.

EB Schweißen von Al Werkstoffen an Atmosphäre

NV EBW

An die Stelle der Arbeitskammer tritt das kompakte und rotationssymmetrische Druckstufensystem DSS. mit einem Außendurchmesser von ca. 80 mm

Mit Hilfe des DSS wird der Elektronenstrahl von Hochvakuum im Strahlerzeugungsraum über zwei nachfolgende Druckstufen an Atmosphäre geführt und auf die Austrittsöffnung des DSS fokussiert.

Nach dem Austritt des Elektronenstrahls entsteht durch die Wechselwirkung der Elektronen mit den Gasmolekülen der Luft ein diffuser breiter Strahl. Auf einer Strecke von max. 30 mm ist die Verteilung der Leistungsdichte im Elektronenstrahl noch für schweißtechnische Anwendungen nutzbar. /3/

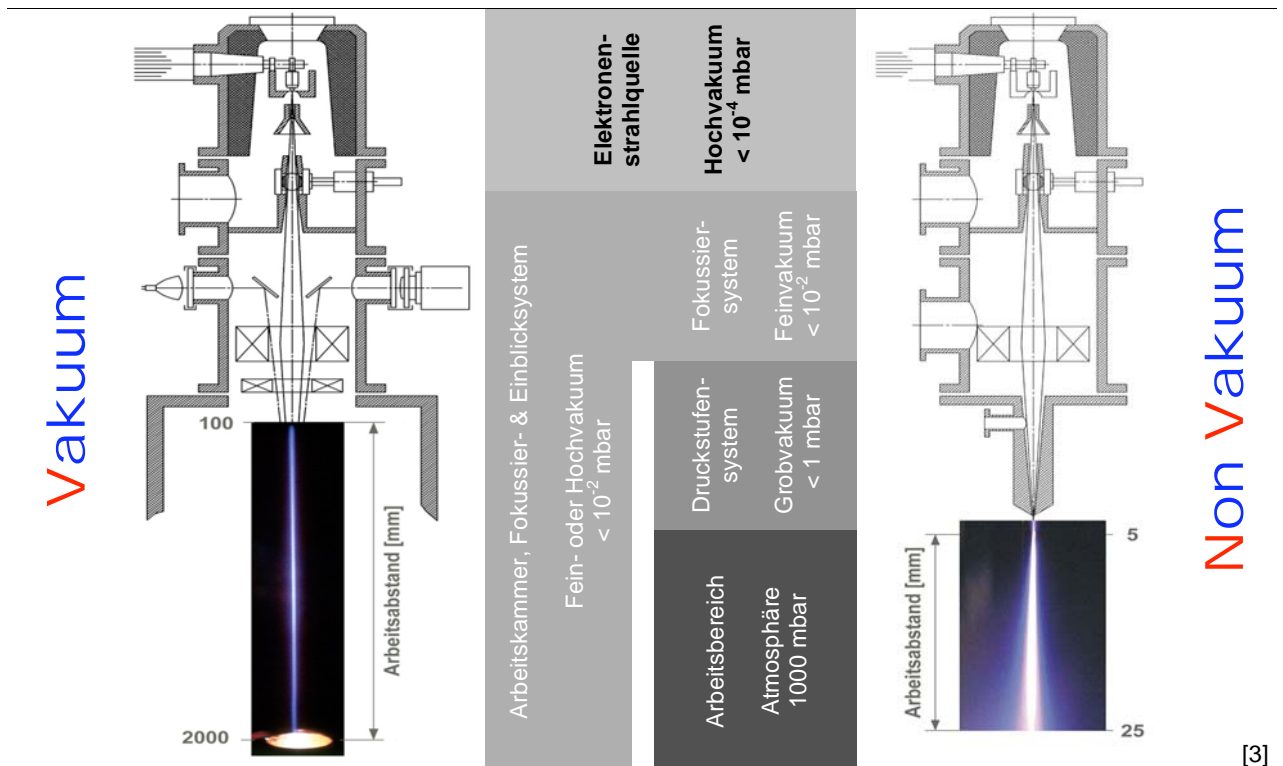


Neben den bereits erwähnten Maßnahmen zur Vermeidung von Überschlügen wird die Austrittsöffnung auf die Größe des Fokuspunkts (\varnothing ca. 1-2 mm) reduziert und mit einem Crossjet (ein Quer zur Strahlrichtung verlaufender Gasstrom; Druckluft) verschlossen. Schweißspritzer und entstehender Al-Oxyd-Dampf werden so vom EB Erzeuger ferngehalten.



Der diffuse Elektronenstrahl erlaubt eine gute Spaltüberbrückung und zeigt sich zudem Unempfindlichkeit gegen Vermutungen aus der Vorfertigung so wie sie in der Automobilindustrie zu finden sind. Die vom Material unabhängige Energieeinkopplung, hohe Schweißgeschwindigkeiten und optimale Anlagenwirkungsgrade von über 60 % machen das NV EBW zu einem rationellen und flexiblen Fügeverfahren. /3/

VERGLEICH

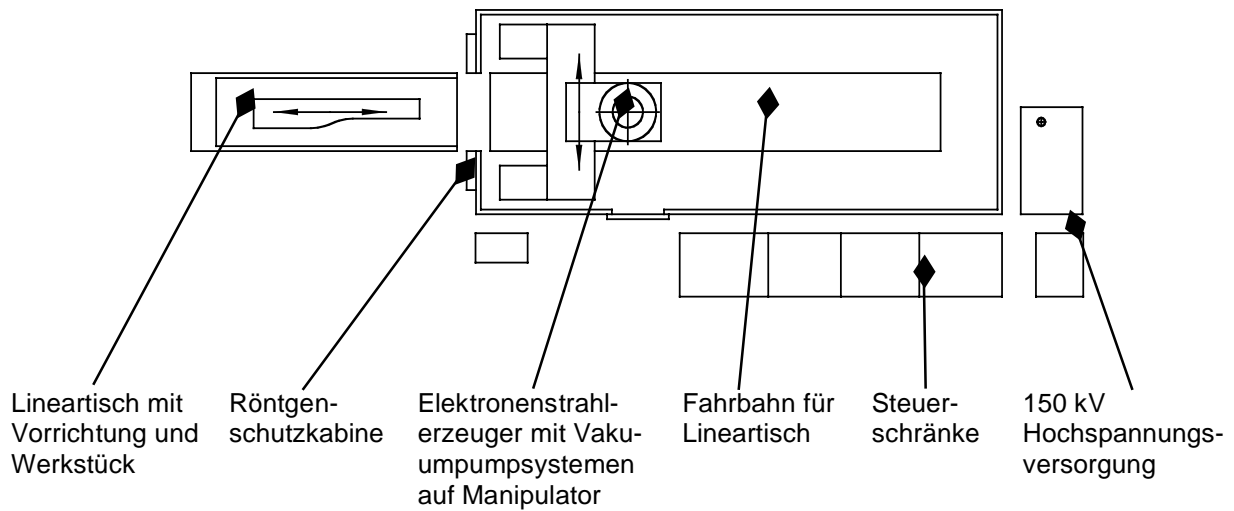


Non Vacuum EBW Anlagenkonzept

Gegenüber dem klassischen Vakuum EBW entfallen beim Non Vacuum EBW die Evakuierzeiten der Arbeitskammer. Mit einem zweiachsigen Portal (X, Y) für den EB Generator und einer mehrachsigen Werkstückbewegung (X, A, B und Kombinationen) lässt sich ein nahezu uneingeschränkter 3D Arbeitsbereich realisieren. Da beim EB Schweißen Röntgenstrahlung entsteht ist der Schweißbereich entsprechend abzuschirmen.

Notwendige Baugruppen für eine NV EBW Anlage sind:

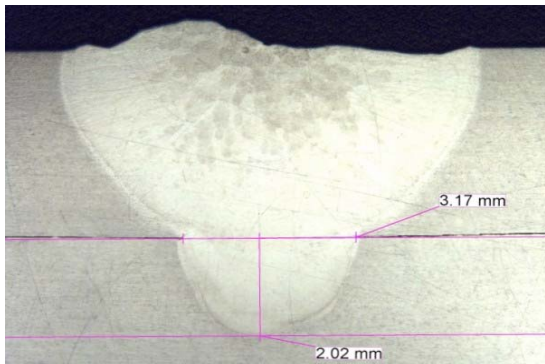
- Elektronenstrahlgenerator (> 150 kV)
- Druckstufensystem
- Werkstück-Manipulatoren und Vorrichtungen und/oder Manipulator für EB Generator
- Vakuumpumpsysteme
- Röntgenschutz
- Steuerung SPS/CNC



[3]

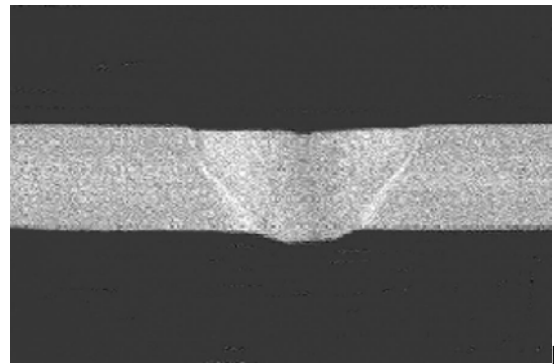
Beispiele für an Atmosphäre EB geschweißte Al-Anwendungen

Abhängig von der Blechdicke und der Breite der Schmelzzone lassen sich z.B. bei einer I-Naht Spalte von 0,1 bis 1,0 mm überbrücken. Um bei großen Spalten einen Nahteinfall zu vermeiden sollte bei der Gestaltung der Fügestelle ausreichend Material angeboten werden. Ist eine entsprechende Gestaltung nicht möglich so kann dem NV Schweißprozess auch Zusatzmaterial zugeführt werden was, aber eine drastisch reduziert der Schweißgeschwindigkeit zur Folge hat. Die Unempfindlichkeit gegen Schwankungen beim Arbeitsabstand von ca. 5 %, hohe Schweißgeschwindigkeiten bis zu 20 m/min, Schweißstiefen bis zu 20 mm und Nahttiefe-zu-Breite-Verhältnis von 1:5 macht das NV EBW besonders für das Schweißen grob tolerierter Karosseriebauteile aus Aluminium interessant. /3/



[3]

Überlappnaht in zwei 4 mm dicke AlMg_{4,5}Mn Blechen. Schweißgeschwindigkeit 6 m/min bei 21 kW Strahlleistung.

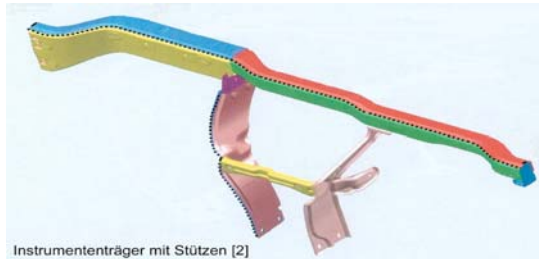


[1]

I-Nahtschweißung von zwei 1,25 mm dicken AlMg₅ Blechen. Schweißgeschwindigkeit 18 m/min bei 7,5 kW Strahlleistung.

Aktuelle Anwendung und Anlagenkonzept

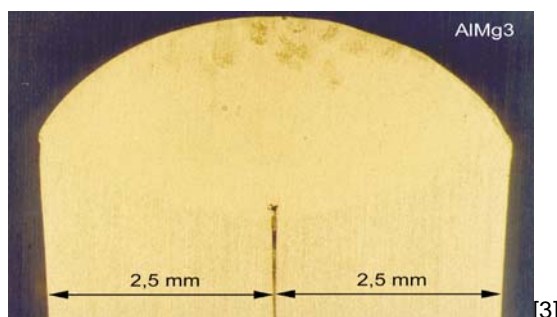
Der Einsatz von Aluminiumwerkstoffen für Karosserieteile im Automobilbau führte auch zu Änderungen im Design der Bauteile. Das neu konstruierte Karosseriebauteil aus Aluminium muss die gleichen oder sogar besseren Eigenschaften aufweisen wie die zu ersetzende Stahlkonstruktion.



Ein Beispiel hierfür ist der Instrumententräger eines PKW's. Ersetzt werden musste eine punktgeschweißte 1,5 mm dicke Stahlblechkonstruktion. Es wurde ein ähnliches aus 2,5 mm dicken AlMg3-Blechen geformtes Design mit insgesamt 40 % weniger Gewicht entwickelt. Dieses Design fordert aber eine durchgängig geschweißte 1,4 m lange Bördelnaht auf beiden Seiten des Trägers.

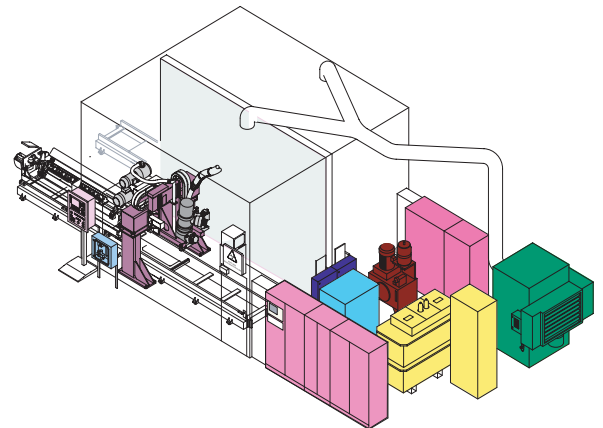


Die Anforderungen an das Fügeverfahren wie hohe Schweißgeschwindigkeit zur Erzielung kleiner Taktzeiten, geringe Wärmeeinbringung für minimalen Verzug und die Einsparung von Zusatzmaterial führten zum Elektronenstrahl-schweißen an Atmosphäre, dem NV EBW.



Neben den bereits erwähnten Eigenschaften des NV EBW und den erforderlichen Baugruppen für eine solche Anlage wurde ein Konzept gesucht welches eine hohe STRAHL-EIN-ZEIT erlaubt und eine hohe Verfügbarkeit der gesamt Anlage sicherstellt.

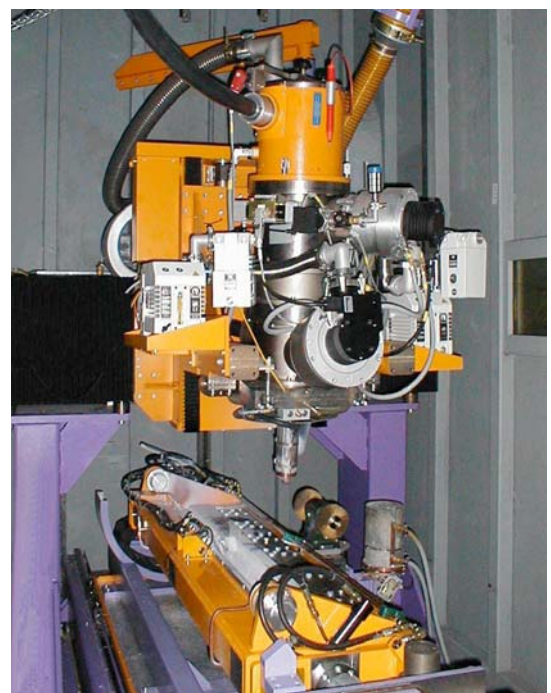
Für die Fertigung von 500.000 Instrumententräger im Jahr hat *igm Steigerwald* gemeinsam mit der Firma **ALCAN** das neue **NV EBW** Anlagenkonzept **EBONOVA TWIN** entwickelt.



[3]

EBONOVA besteht im wesentlichen aus zwei EB Schweißzellen mit je einer Linearbahn für die Werkstückbewegung und je einem Manipulator für den EB-Generator aber mit gemeinsam genutzter Hochspannungsversorgung, Steuerstrank, Absaugung und anderen Hilfsaggregaten.

Mit diesem Konzept lassen sich bei einer Strahlleistung von 18 kW bei 150 kV Schweißgeschwindigkeiten von > 12 m/min und eine Taktzeit von < 25 Sekunden pro Bauteil erzielen. /5/ Das schlanke rotationssymmetrische Druckstufensystem passt sich sehr gut dem gekrümmten Bauteile an. Die Möglichkeit den EB Generator zu kippen erlaubt schleppende oder voreilende Schweißprozesse.



[3]

Geschichtliche Entwicklung des EBW

1948 bis 1951 entwickelte der Physiker Dr. K. H. Steigerwald (ZEISS) das Bohrverfahren von Uhrsteinen und Ziehdüsen mittels dem Elektronenstrahl (EB).

Mit der Entdeckung des Tiefschweißeffektes in den folgenden Fünfziger wurde weltweit das Bohren, Schweißen, Härten und Umschmelzen mittels des hochenergetischen Elektronenstrahls im Vakuum als auch an Atmosphäre (Lorenz/HEREAUS) erforscht. /2/ Meilensteine sind ein

- Nahttiefe-zu-Breite-Verhältnis von 10:1 - und
- eine Schweißtiefe bis zu 5 mm -.

Die industrielle Anwendung findet der Elektronenstrahl erst in den Sechziger. Ingenieure aus der Kernkraft- und Triebwerkstechnik so wie der Raumfahrt suchten ein Schweißverfahren für Hochreaktive- und Hochtemperaturwerkstoffe (Zirkon-, Tantal-, Titan-, Nioblegierungen).

Es beginnt die Phase der anlagentechnischen Entwicklung und die Erforschung der Abhängigkeiten von Schweißparameter, Nahtgeometrie und Metallurgie

- Nahttiefe-zu-Breite-Verhältnis 20:1 -
- Schweißtiefe bis 50 mm -.

In den vergangenen 25 Jahren konnte sich das Elektronenstrahlschweißen und Bohren in der Automobil-, Luft-, und Raumfahrtindustrie als Schlüsseltechnologie etablieren und ist heute, trotz einer rasanten Laserentwicklung, ein verbreitetes Fügeverfahren für die Einzelteil- und Großserienfertigung

- Nahttiefe-zu-Breite-Verhältnis 50:1 -
- Schweißtiefe bis 200 mm -.

<p>Autor:</p> <p>Dipl.-Ing. Klaus Schmelzeisen, Verkauf & Projektierung, Steigerwald Strahltechnik, 82178 Puchheim, Germany, Februar 2002.</p>	<p>Bildnachweiß:</p> <p>[1] isf Aachen [3] ALCAN / VW [3] igm Steigerwald Strahltechnik Puchheim [4] Dr. sc. techn. Klaus-Rainer Schulze, Maintal</p>
<p>Schrifttum:</p> <p>/1/ Dipl.-Ing. H. Schutz, Elektronenstrahlschweißen, DVS Verlag, Düsseldorf, 1989</p> <p>/2/ Prof. Dr.-Ing. U. Dilthey, Dipl.-Ing. M. Dobner, Dipl.-Ing. A. Ghandehari, Dipl.-Ing. F. Lüder, cand.-ing. G. Träger, Entwicklung, Stand und Perspektiven der Strahltechnik, 1999</p> <p>/3/ Prof. Dr.-Ing. U. Dilthey und Dipl.-Ing. W. Behr, Elektronenstrahlschweißen an Atmosphäre, Schweißen & Schneiden 52(200)8, S. 461-465, 1999</p> <p>/4/ P. Anderl, Dr. W. Hillert† und J. Koy, Messer Griesheim GmbH Steigerwald Strahltechnik, Puchheim, Elektronenstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen, ALUMINIUM 62/1986, Aluminium-Verlag GmbH, Düsseldorf</p> <p>/5/ Dipl.-Phys. G. Ripper und K. Leeb, igm AG Steigerwald Strahltechnik, Puchheim, Non Vacuum Electron Beam Welding, Firmenmitteilung, 2000</p> <p>/6/ Johannes Koy, igm AG Steigerwald Strahltechnik, Puchheim, Elektronenstrahltechnik für den Praktiker, Seminarbegleitbuch, 1997</p> <p>/7/ Dr. A. Hinse-Stern und K. Leeb, igm AG Steigerwald Strahltechnik, Puchheim, 5. Konferenz Strahltechnik, SLV Halle(Saale), 2001</p> <p>/8/ N.N.: Aluminium-Taschenbuch, 14. Auflage. Aluminium-Verlag, Düsseldorf. 1983</p>	